

**FUNKTIONELLE UNTERSUCHUNGEN
BEI KINDERN NACH KORREKTUROPERATION
EINER FALLOT'SCHEN TETRALOGIE**

Wolfgang Hofacker

1976





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553812_0076

Aus der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen
im Kindesalter am Deutschen Herzzentrum München
Direktor: Professor Dr. med. K. Bühlmeier

FUNKTIONELLE UNTERSUCHUNGEN BEI KINDERN
NACH KORREKTUROPERATION EINER FALLOT'SCHEN TETRALOGIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Wolfgang Hofacker
aus Tuttlingen/Donau

1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der
Universität München

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. R. Mocellin

Mitberichterstatter: Prof. Dr. K. Betke

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 27. 4. 1976



Inhalt

	Seite
Einleitung	1
I. Eigene Untersuchungen	3
1. Methodik	3
a) Untersuchungsgut	3
b) Meßanordnungen	4
c) Versuchsanordnung	6
d) Angewandte statistische Methoden	7
2. Ergebnisse	8
a) Die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation	11
b) Das Verhalten wichtiger Kreislaufparameter in Ruhe und während Belastung bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation	16
c) Das Atemminutenvolumen und die Blutgase in Ruhe und während Belastung bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation	19
d) Drucke im rechten Ventrikel und im kleinen Kreislauf in Ruhe bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation	22
II. Diskussion der Ergebnisse	28
Zusammenfassung	29
Literaturverzeichnis	29

Einleitung.

Bei der von Fallot 1888 erstmals beschriebenen und später nach ihm benannten Fallot'schen Tetralogie handelt es sich um die Kombination eines großen Ventrikelseptumdefektes mit einer meist infundibulären Pulmonalstenose. Manchmal ist zusätzlich eine valvuläre Pulmonalstenose vorhanden. Die Hypertrophie des rechten Ventrikels sowie die Dextroposition der Aorta, die zusammen mit den beiden genannten Mißbildungen maßgebend für die Bezeichnung Tetralogie waren, sind sekundär entstandene Veränderungen des Herzens. Durch die Einführung der Herz-Lungen-Maschine und die dadurch ermöglichte extrakorporale Zirkulation wurde die Operation dieses Herzfehlers möglich und 1955 zum ersten Mal durchgeführt. Seit dieser Zeit ist die Korrektur der Fallot'schen Tetralogie ein Standardverfahren geworden.

Die Korrekturoperation besteht im wesentlichen in einer Erweiterung des Ausflußtrakts des rechten Ventrikels durch Resektion hypertropher Muskelmassen im Bereich des Infundibulums sowie im Verschluß des Ventrikelseptumdefekts durch eine flexible Kunststoffscheibe, dem sogenannten patch. In einigen Fällen ist eine zusätzliche Sprengung der Pulmonalklappe bzw. eine Commissurotomie notwendig. In seltenen Fällen ist der Pulmonalklappenring und der Anfangsteil des Pulmonalisstammes so eng, daß eine künstliche Erweiterung dieses Bereichs durch einen Ausflußtraktpatch notwendig ist. Auch nach der Operation besteht in der Regel noch eine mehr oder weniger ausgeprägte Einengung im Bereich des rechtsventrikulären Infundibulums, sodaß der Druck im rechten Ventrikel, der vor der Operation dem Systemdruck entsprach, noch mehr oder weniger stark erhöht ist. Auch kommt es als Folge der Operation in vielen Fällen zu einer Pulmonalinsuffizienz, die ebenfalls mehr oder weniger stark ausgeprägt ist und zu einem Rückfluß eines unterschiedlich großen Anteils der rechtsventrikulären Auswurfmenge während der Diastole führt. Eine völlige Normalisierung der hämodynamischen Verhältnisse im Bereich des rechten Ventrikels und dem kleinen Kreis-

lauf wird deshalb durch die Operation nur in ganz seltenen Fällen erreicht. Es erhebt sich deshalb die Frage, in wie weit die Funktion des Herzens durch die Korrekturoperation im allgemeinen normalisiert werden kann.

Neuere Ergebnisse von Bjarke sowie von Epstein et al. besagen, daß die körperliche Leistungsfähigkeit von Patienten, deren Operation im Erwachsenenalter durchgeführt wurde, nach der Operation noch teilweise erheblich eingeschränkt ist. Diese Verminderung der funktionellen Kapazität wurde von den Autoren teilweise auf die Einschränkung der körperlichen Aktivität der Patienten während der gesamten Wachstumsperiode zurückgeführt, weil eine normale körperliche Aktivität während Kindheit und Pubertät als ein konstituierender Faktor für eine harmonische somatische und funktionelle Entwicklung angesehen wird (Tanner; Eriksson). Gegenwärtig erfolgt die Operation bei Fallot'scher Tetralogie in der Regel schon im Kindesalter, im allgemeinen zwischen dem 5. und 10. Lebensjahr. Die Frage ist also, ob auch bei diesen Patienten, deren körperliche Aktivität durch die Operation bedeutend begünstigt wird, als Folge der noch vorhandenen anatomischen und hämodynamischen Veränderungen ebenfalls noch eine Einschränkung der Funktionsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems besteht.

I. Eigene Untersuchungen

1. Methodik

a) Untersuchungsgut:

Die Untersuchungen wurden bei 8 Jungen und 13 Mädchen im Alter von 7,9 bis 17,3 Jahren durchgeführt, deren Korrekturoperation 1 bis 7 Jahre, im Durchschnitt 3,6 Jahre, zurücklag. Die Kinder waren seit der Operation in regelmäßiger ambulanter Kontrolle gewesen. Dabei hatte sich in diesen Fällen auf Grund klinischer Befunde kein Anhalt für einen Restdefekt des Ventrikelseptums ergeben. Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte von Alter, Körperlänge und Körpergewicht unserer Versuchspersonen. Der Vergleich der Körpermeßdaten mit den Normwerten von Meredith zeigt, daß bezüglich der Körperlänge im Durchschnitt noch eine geringe Retardierung vorhanden war.

	$\bar{x}$	s
Alter (Jahre)	12,1	2,36
Körperlänge (cm)	148,7	13,0
ASL (cm)	150,3	12,0
Körpergewicht (kg)	39,8	11,9
ASG (kg)	40,8	9,7
Alter bei TK (Jahre)	8,5	2,13

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen von Alter, Körperlänge und Körpergewicht sowie Alter zum Zeitpunkt der Korrekturoperation bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur. Körperlänge und Körpergewicht sind mit den Normwerten von Meredith verglichen (ASL = Alterssollänge, ASG = Alterssollgewicht, TK = Totalkorrektur).

Die Auskultation ergab bei allen Kindern noch ein systolisches Geräusch über der Ausflußbahn des rechten Ventrikels und damit den Verdacht auf eine Reststenose im Bereich

des rechtsventrikulären Infundibulums. Bei 15 der 21 Kinder war außerdem ein leises diastolisches Geräusch als Hinweis auf eine Pulmonalinsuffizienz hörbar.

Das EKG zeigte in allen Fällen einen Sinusrhythmus sowie einen operativ bedingten Rechtsschenkelblock. Auf der Röntgenaufnahme des Thorax war das Herz in 13 Fällen normal groß, in 5 Fällen war es jedoch gering und in 3 Fällen mittelgradig vergrößert.

b) Meßanordnungen:

Die Belastung erfolgte bei stufenweise ansteigender Leistung auf einem Fahrradergometer, wobei jede Belastungsstufe etwa 6-7 Minuten dauerte, und die dritte Belastungsstufe so ausgewählt wurde, daß die Kinder dabei ihre maximale Sauerstoffaufnahme erreichten. Kriterien für das Erreichen der maximalen Sauerstoffaufnahme waren ein deutlicher Anstieg der Atemfrequenz in Kombination mit tiefen Atemexkursionen sowie einer Herzfrequenz im Bereich von 200/min. Nach Abschluß der Untersuchung wurde überprüft, ob die Sauerstoffaufnahme auf der höchsten Belastungsstufe weniger stark angestiegen war, als nach der durchgeführten Leistung zu erwarten gewesen wäre. Ein derartiges "levelling off" der Sauerstoffaufnahme wurde von uns als Beweis für das Erreichen der maximalen Sauerstoffaufnahme angesehen. War es hingegen nicht zu einem "levelling off" der Sauerstoffaufnahme gekommen, so wurde trotzdem die maximale Sauerstoffaufnahme dann als erreicht angesehen, wenn der respiratorische Quotient auf der letzten Belastungsstufe einen Wert von mehr als 1 erreicht hatte und wenn das Atemäquivalent für Sauerstoff auf der letzten Belastungsstufe deutlich angestiegen war. Ein weiteres Kriterium dafür, daß die maximale Sauerstoffaufnahme erreicht worden war, waren Blutlactat-Werte nach Beendigung der Belastung, die maximalen Belastungswerten für diese Altersgruppe entsprachen. Obwohl für die Untersuchungen ein drehzahlunabhängiges Ergometer (Holmgren

und Matson) verwendet wurde, wurden die Kinder während submaximaler Belastungen zur Einhaltung einer Tretgeschwindigkeit von 50 bis 60 Pedalumdrehungen pro Minute angehalten, um auf diese Weise den Wirkungsgrad bei mechanischer Arbeit konstant zu halten. Die Messungen wurden jeweils in der 5. bis 7. Minute jeder Belastungsstufe durchgeführt. Die Herzfrequenz wurde aus einem mitgeschriebenen EKG-Streifen bestimmt. Die Sauerstoffaufnahme wurde mit Hilfe der Douglas-Sack-Methode bestimmt. Zu diesem Zweck wurde in Ruhe über 5 Minuten, bei submaximalen Belastungen über 2 Minuten und bei maximaler Belastung über 1 bis 1,5 Minuten die Ausatemungsluft gesammelt. Das Volumen der Ausatemungsluft wurde mit Hilfe einer trockenen Gasuhr gemessen und zur Bestimmung des Atemminutenvolumens auf BTPS-Verhältnisse umgerechnet. Die Atemgasanalyse erfolgte für CO_2 nach dem Ultrarot-Absorptionsprinzip und für O_2 auf paramagnetischer Basis. Bei der Berechnung der Sauerstoffaufnahme bedienten wir uns der physiologischen Tatsache, daß der Stickstoff am Umsatz nicht beteiligt ist und demzufolge die Menge des eingeatmeten Stickstoffs gleich der Menge des ausgeatmeten Stickstoffs ist.

Vor Beginn der Untersuchung wurde nach vorsichtiger Lokalanästhesie perkutan oder transkutan von der vena basilica eines Armes aus ein Einschwemmkatheter unter Manometerkontrolle in die Pulmonalarterie vorgeschoben und ebenfalls nach sorgfältiger Lokalanästhesie die arteria brachialis punktiert und eine Plastikkanüle eingelegt. Sowohl der Pulmonalkatheter als auch die arterielle Kanüle wurden mit einem Pumpensystem verbunden, mit dessen Hilfe nach Abziehen der Totraumvolumina gleichzeitig zentralvenöses und arterielles Blut über etwa 1,5 Minuten zur Bestimmung der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz gesammelt wurden. Außerdem wurde jeweils über einem Dreiweghahn arterielles Blut für die Bestimmung von pH, pO_2 und pCO_2 sowie für die enzymatische Laktatbestimmung im Blut (Scholz et al.) entnommen.

Für die Bestimmung des Sauerstoffgehalts im Blut bedienten wir uns einer coloumetrischen Methode, die darauf beruht, daß durch Reduktion von Sauerstoff in einer galvanischen Zelle ein Strom aufgebaut wird, dessen Menge der Menge von Sauerstoff proportional ist (Sinet).

c) Versuchsanordnung:

Die Untersuchungen wurden im Rahmen einer ambulanten Kontrolle durchgeführt, und zwar jeweils an einem Vormittag, nachdem die Kinder zuvor ausreichend gefrühstückt hatten. Vor Beginn der Belastungsuntersuchung und nach Einschwemmen des pulmonalarteriellen Katheters wurde zuerst eine Rechtsherzsondierung in der üblichen Weise durchgeführt. Neben den Druck- und Sättigungswerten im Bereich des rechten Herzens wurde dabei jedoch auch die Sättigung und der Druck im Systemkreislauf, sowie die Sauerstoffaufnahme und das Atemminutenvolumen bestimmt. Anschließend wurde der Einschwemm-katheter wieder in die Pulmonalarterie eingelegt und die Kinder wurden mit liegenden Anschlüssen auf ein Fahrradergometer gesetzt, auf dem die weiteren Untersuchungen in der beschriebenen Weise durchgeführt wurden. Nach Abschluß der Belastungsuntersuchung wurde jeweils die arterielle Kanüle sowie der rechtsventrikuläre Katheter entfernt und im Bereich des arteriellen Zugangs ein Druckverband angelegt. Anschließend wurden die Kinder noch für etwa eine Stunde überwacht und dann in Begleitung ihrer Eltern wieder nach Hause entlassen.

d) Angewandte statistische Methoden

Arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen wurden nach den bekannten statistischen Rechenverfahren ermittelt: Die Berechnung von Maßkorrelationen erfolgte nach der Formel:

$$r = \frac{\sum[(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})]}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \cdot \sum(y - \bar{y})^2}}$$

Bei der Berechnung von Regressionen mit nur einer abhängigen Veränderlichen lautet die Formel für den Regressionskoeffizienten:

$$b = \frac{\sum[(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})]}{\sum(x - \bar{x})^2}$$

Für den Intercept:

$$a = \frac{\sum y - (b \cdot \sum x)}{n}$$

2. Ergebnisse

a) Die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation.

	Ruhe	I	II	Max
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
$\dot{V}_{O_2}$ (l/min)	0,24 $\pm$ 0,04	0,64 $\pm$ 0,16	1,01 $\pm$ 0,19	1,38 $\pm$ 0,37
$\dot{V}_{E\text{BTPS}}$ (l/min)	9,4 $\pm$ 2,6	19,8 $\pm$ 6,1	30,1 $\pm$ 5,9	49,9 $\pm$ 14,1
$\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$	39,4 $\pm$ 11,1	30,8 $\pm$ 5,3	30,0 $\pm$ 4,2	36,2 $\pm$ 4,0
R	0,88 $\pm$ 0,16	0,86 $\pm$ 0,07	0,89 $\pm$ 0,04	0,99 $\pm$ 0,05
HF (min ⁻¹)	95 $\pm$ 11	130 $\pm$ 15	169 $\pm$ 13	196 $\pm$ 8
AVD _{O₂} (ml/100 ml)	6,0 $\pm$ 1,1	9,5 $\pm$ 0,7	11,4 $\pm$ 0,9	13,4 $\pm$ 0,9
$\dot{Q}$ (l/min)	4,3 $\pm$ 1,3	6,8 $\pm$ 1,8	9,0 $\pm$ 1,9	10,3 $\pm$ 2,9
SV (ml)	46 $\pm$ 12	53 $\pm$ 14	54 $\pm$ 13	53 $\pm$ 14
PaO ₂ (mm Hg)	97 $\pm$ 8	88 $\pm$ 5	86 $\pm$ 5	86 $\pm$ 6
PaCO ₂ (mm Hg)	34,4 $\pm$ 4,2	33,0 $\pm$ 3,5	31,9 $\pm$ 3,8	28,2 $\pm$ 3,0
V _D /V _T (%)	39 $\pm$ 12	24 $\pm$ 10	17 $\pm$ 7	12 $\pm$ 7
Blutlactat (mMol/l)	0,9 $\pm$ 0,3	1,6 $\pm$ 0,6	3,1 $\pm$ 1,2	6,3 $\pm$ 2,2

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen von Sauerstoffaufnahme

($\dot{V}_{O_2}$), Atemminutenvolumen ($\dot{V}_{E\text{BTPS}}$), Atemäquivalent ($\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$), respiratorischen Quotienten (R), Herzfrequenz (HF), arteriovenöser Sauerstoffdifferenz (AVD_{O₂}), Herzminutenvolumen ($\dot{Q}$), Schlagvolumen (SV), arterieller Sauerstoffspannung (PaO₂), arteriellem CO₂-Druck (PaCO₂), physiologischem Totraum (V_D/V_T) und Lactatspiegel im Blut in Ruhe (Sitzen), während submaximaler (I, II) und während maximaler (Max) Belastung am Fahrradergometer bei 21 Kindern und jugendlichen mit Fallotscher Tetralogie nach Totalkorrektur.

Die maximale Sauerstoffaufnahme als Bruttokriterium der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit betrug im Mittel 1,38 l/min (siehe Tab. 2). Wegen der Geschlechts- und Altersabhängigkeit der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit läßt jedoch dieser Wert alleine noch keinen Vergleich zu. Wir haben deshalb die maximale Sauerstoffaufnahme in Prozent der nach der Körperlänge zu erwartenden Werte berechnet. Die dabei zugrunde gelegten Normalwerte sind an anderer Stelle beschrieben worden (Mocellin und Bastanier). Wie aus Tab. 3 hervorgeht, betrug die maximale Sauerstoffaufnahme 84,6% derjenigen von gesunden Kindern gleicher Körperlänge.

	$\bar{x}$	s
$\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ (% LS)	84,6	12,4
SV max (% LS)	88,5	16,3
$\dot{Q}$ max (% LS)	83,4	13,3

Tabelle 3: Maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$), Schlagvolumen bei maximaler Belastung (SV max) und maximales Herzminutenvolumen ($\dot{Q}$ max), jeweils in Prozent der Längennorm (% LS), bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot-scher Tetralogie nach Totalkorrektur.

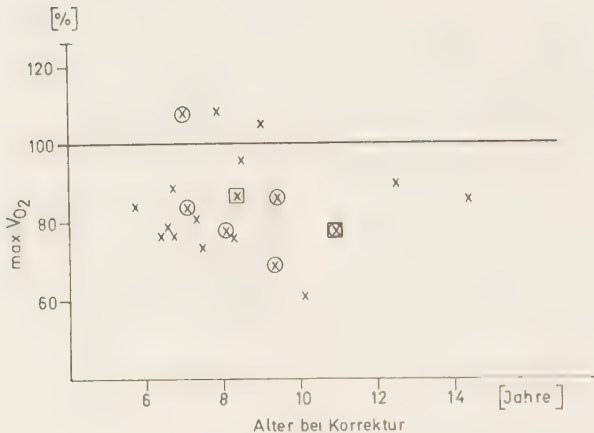


Abb. 1: Maximale Sauerstoffaufnahme ($\max \dot{V}_{O_2}$) in Prozent der Längennorm, in Abhängigkeit vom Lebensalter zum Korrekturzeitpunkt, bei 21 Kindern und Jugendlichen mit korrigierter Fallotscher Tetralogie (O Kinder mit früherer Blalock-Taussig-Anastomose, $\square$ Kinder mit Ausflußtraktpatch).

In Abb. 1 ist die maximale Sauerstoffaufnahme in Prozent des Längensolls in Abhängigkeit vom Alter zum Zeitpunkt der Korrektur dargestellt. Die Abbildung läßt erkennen, daß nur drei Kinder überdurchschnittliche Werte der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit erreichten. Eine deutliche Tendenz in dem Sinne, daß die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit umso schlechter ist, je später die Korrekturoperation erfolgte, geht aus der Abbildung nicht hervor. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß nur vier der 21 Kinder zum Zeitpunkt der Korrektur ein Alter von mehr als zehn Jahren hatten. Bei 6 Kindern war der Korrekturoperation eine Palliativoperation in Form einer Blalock-Taussig-Anastomose vorangegangen. Diese Kinder unterscheiden sich in ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme nicht sicher von den anderen Probanden. Bei 2 Patienten war bei der Korrekturoperation ein Ausflußtrakt-

patch notwendig gewesen. Auch ihre Werte weichen nicht wesentlich von denjenigen der übrigen Kinder ab.

- b) Das Verhalten wichtiger Kreislaufparameter in Ruhe und während Belastung bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation.

Aus Tab. 2 geht hervor, daß die Herzfrequenz von einem Ruhewert von 95/min. auf 196/min. bei maximaler Belastung anstieg. Dieser Maximalwert entspricht dem mittleren Maximalwert gesunder Kinder und Jugendlicher. In Abb. 2 wurde die Herzfrequenz während submaximaler Belastungen zur Sauerstoffaufnahme in Beziehung gesetzt. Die Sauerstoffaufnahme ist dabei jeweils in Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme angegeben. Bei dieser relativen Betrachtungsweise liegen die Werte der Herzfrequenz der hier untersuchten Probanden ganz überwiegend im 2-Sigabereich einer normalen Vergleichspopulation. Berücksichtigt man aber, daß die maximale Sauerstoffaufnahme unserer Probanden im Mittel nur 84,6% des Vergleichswertes gesunder Kinder betrug, und daß dementsprechend auch die prozentualen Anteile der maximalen Sauerstoffaufnahme bei den hier untersuchten Kindern geringer waren als bei Kindern gleicher körperlicher Entwicklung, dann läßt sich schließen, daß bei absolut gleicher Sauerstoffaufnahme die Herzfrequenz der Kinder mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation höher war als diejenige von gesunden Kindern.

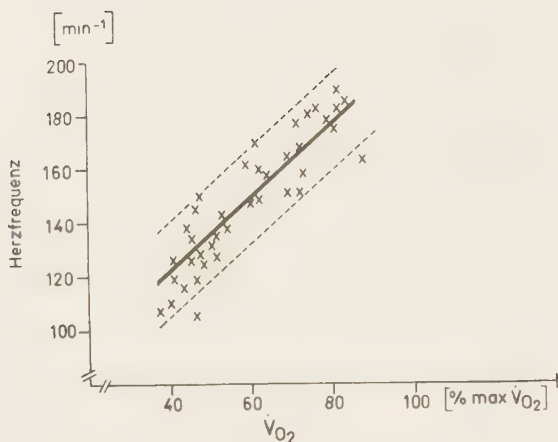


Abb. 2: Herzfrequenz während submaximaler Belastungen am Fahrradergometer in Abhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme (in Prozent der maximalen O_2 -Aufnahme) bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur. Die Regressionslinie mit 95%-Vertrauensbereich entspricht gesunden 10-14jährigen Vergleichskindern (Mocellin, Rutenfranz und Singer).

Die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz verhält sich in Ruhe und während Belastung prinzipiell ebenso wie die Herzfrequenz. Der bei maximaler Belastung von unserer Gruppe erreichte Wert von 13,4 ml/100ml entspricht völlig dem mittleren Normalwert Gleichaltriger (Eriksson).

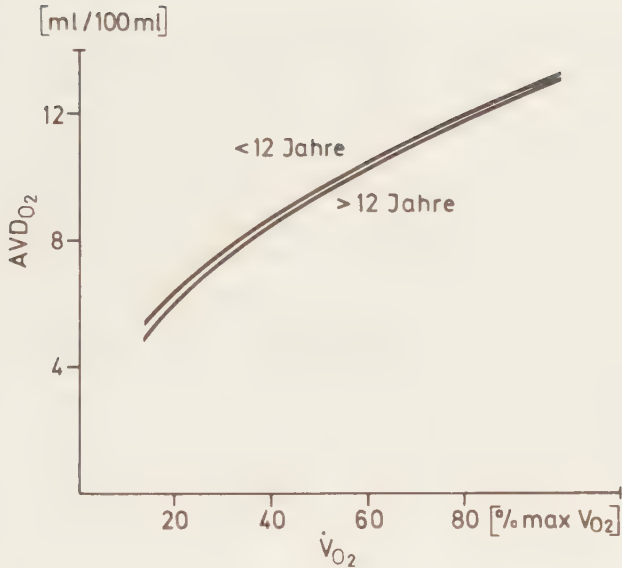


Abb. 3: Arteriovenöse Sauerstoffdifferenz in Abhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme (in Prozent der maximalen O_2 -Aufnahme) bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot-scher Tetralogie nach Totalkorrektur, unterteilt in 2 Altersgruppen.

Die Abb. 3 gibt den Verlauf der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz mit ansteigender Sauerstoffaufnahme für die jüngere und für die ältere Gruppe der von uns untersuchten Kinder wieder.

Zwischen beiden Gruppen ist praktisch kein Unterschied nachweisbar. Es läßt sich jeweils der schon aus früheren Untersuchungen (Mocellin, Sebening u. Bühlmeier) bekannte hyperbolische Verlauf der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz mit zunehmender Sauerstoffaufnahme nachweisen.

Die Werte für das Schlagvolumen und das Herzminutenvolumen

in Ruhe und während Belastung sind für unsere Probanden ebenfalls in Tab. 2 wiedergegeben. Um zu erkennen, inwieweit die maximalen Werte normal sind, ist auch hier ebenso wie bei der maximalen Sauerstoffaufnahme eine Umrechnung der Einzelwerte in Prozent der Längensollwerte zweckmäßig. Die hierbei verwandten Normwerte sind ebenfalls an anderer Stelle beschrieben (Mocellin). Wie aus Tab. 3 hervorgeht, zeigt sich bei dieser Berechnungsweise, daß sowohl das maximale Schlagvolumen als auch das maximale Herzminutenvolumen ähnlich wie die maximale Sauerstoffaufnahme im Vergleich zu gesunden Kindern und Jugendlichen vermindert sind.

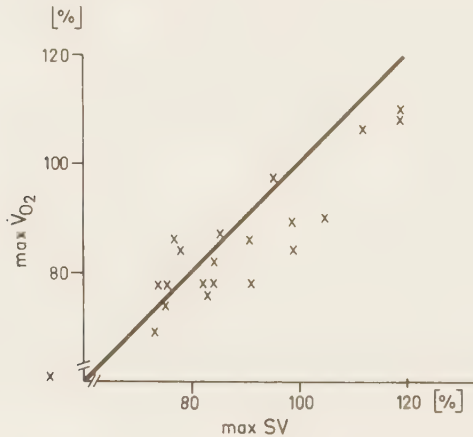


Abb. 4: Maximale O_2 -Aufnahme ($\max \dot{V}_{O_2}$) in Prozent der Längennorm, bezogen auf das maximale Schlagvolumen ($\max SV$), ebenfalls in Prozent der Längennorm, bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur.

In Abb. 4 wurden die Einzelwerte der maximalen Sauerstoffaufnahme, berechnet in Prozent der Längensollwerte, zu den Einzelwerten des maximalen Schlagvolumens, ebenfalls in Prozent der Längensollwerte, in Beziehung gesetzt. Die Diagonale ist der Ort gleicher Prozentualwerte für beide Parameter. Aus der Abbildung geht hervor, daß im allgemeinen die

maximale Sauerstoffaufnahme umso stärker erniedrigt ist, je geringer das maximale Schlagvolumen des betreffenden Kindes ist. Allerdings zeigt sich, daß besonders im höheren Bereich die maximale Sauerstoffaufnahme in einigen Fällen etwas geringer ist, als nach dem maximalen Schlagvolumen zu erwarten wäre. Dies bedeutet, daß bei diesen an sich leistungsfähigen Kindern entweder die Herzfrequenz oder die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz gering unter den zu erwartenden Werten blieb.

Um festzustellen, ob das bei maximaler Belastung vorhandene gleichsinnige Verhalten von Sauerstoffaufnahme und Herzminutenvolumen auch bei submaximaler Belastung nachweisbar war, wurden in Abb. 5 die Einzelwerte des Herzminutenvolumens in Ruhe und bei Belastung in Abhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme dargestellt.

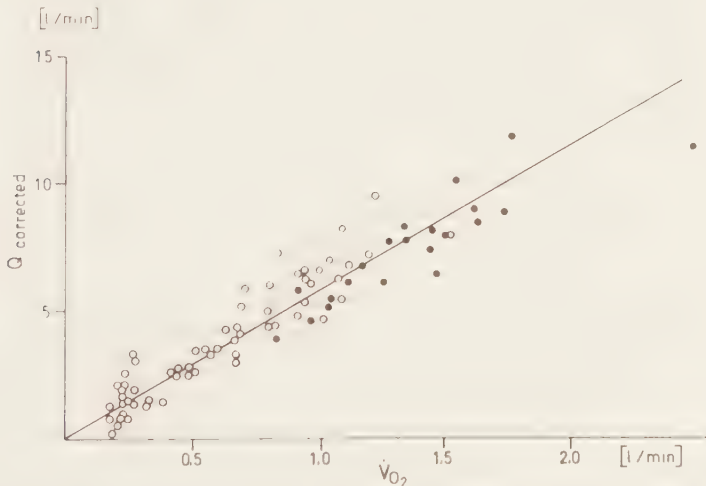


Abb. 5: Herzminutenvolumen ($\dot{Q}$) in Abhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$) in Ruhe sitzend (O) und während submaximaler (O) und maximaler (●) Belastung am Fahrradergometer bei 21 Jungen und Mädchen mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur. Die Werte des Herzminutenvolumens wurden zur besseren Vergleichbarkeit durch Subtraktion des Intercepts der jeweiligen altersentsprechenden Normregression korrigiert.

Da Patienten verschiedener Altersgruppen miteinander verglichen werden sollten, mußten die Einzelwerte des Herzminutenvolumens um den Intercept der jeweiligen altersentsprechenden Normregression zwischen Sauerstoffaufnahme und Herzminutenvolumen verkleinert werden. Die für diese korrigierten Werte gültige normale Vergleichsregression, die also den Mittelwerten gesunder Kinder bei entsprechender Reduktion um den jeweiligen Intercept entspricht, läuft durch den Nullpunkt der dargestellten Beziehung und hat die Formel $y = 5,8x$ (Mocellin). Die Einzelwerte scharen sich, wie aus Abb. 5 hervorgeht, sowohl in Ruhe als auch bei submaximaler Belastung sehr gut um die Normregression. Das bedeutet, daß auch bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur das Herzminutenvolumen in gleicher Weise wie bei gesunden Kindern entsprechend der Belastung bzw. der Sauerstoffaufnahme linear ansteigt und daß somit aus dem Verhalten des Herzminutenvolumens während submaximaler Belastung kein sicherer Rückschluß auf die Funktionsfähigkeit des Herz-Kreislaufsystems bei maximaler Belastung möglich ist.

- c) Das Atemminutenvolumen und die Blutgase in Ruhe und während Belastung bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation.

Bei der unkorrigierten Fallot'schen Tetralogie kommt es bei Belastung zu einer zunehmenden Beimischung venösen Blutes über den intrakardialen Rechts-Links-Shunt. Dadurch fällt die arterielle Sauerstoffsättigung ab, was mit einer Zunahme der CO_2 -Spannung und einem gleichzeitigen Abfall des pH-Wertes im arteriellen Blut verbunden ist. Eine Zunahme der CO_2 -Spannung in Gegenwart einer Hypoxie führt zu einer Hyperventilation, die durch ein hohes Atemäquivalent für Sauerstoff charakterisiert ist.

In Tab. 2 sind die Mittelwerte für das Atemminutenvolumen, das Atemäquivalent sowie paO_2 und paCO_2 in Ruhe und während

submaximaler und maximaler Belastung wiedergegeben. In Ruhe ist das Atemäquivalent deutlich höher als auf der ersten Belastungsstufe. Dies spricht dafür, daß infolge der Erwartungshaltung vor Beginn der Belastungsuntersuchung das Atemvolumen etwas überhöht war. Während Belastung unterscheiden sich dagegen die Werte des Atemäquivalents und des Atemminutenvolumens im Mittel nicht mehr von Werten gesunder Vergleichspersonen (Koch und Eriksson).

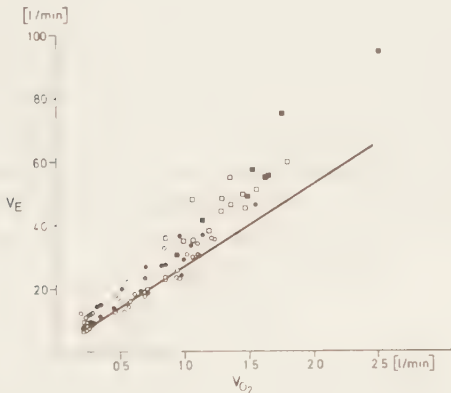


Abb. 6: Atemminutenvolumen ($\dot{V}_E$) in Abhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}_{O_2}$) in Ruhe und während submaximaler (● Jungen, ○ Mädchen) sowie maximaler (■ Jungen, □ Mädchen) Belastung bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur.

In Abb. 6 ist das Atemminutenvolumen in Ruhe und bei Belastung in Abhängigkeit von der Sauerstoffaufnahme dargestellt und mit den Werten von gesunden Erwachsenen verglichen. Die meisten submaximalen Werte der von uns untersuchten Kinder liegen oberhalb der Regressionslinie. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Ventilation bei Kindern im Vergleich

zur Sauerstoffaufnahme etwas größer ist als bei Erwachsenen, können die Werte aber noch als normal aufgefaßt werden. Im maximalen Bereich steigt die Ventilation entsprechend dem Verhalten gesunder Kinder deutlich an.

Die arterielle Sauerstoffspannung war mit 97 mm Hg in Ruhe unauffällig. Während submaximaler Belastung kam es zu einem deutlichen Abfall dieses Wertes, der stärker ausgeprägt war, als es bei gesunden Kindern beobachtet wurde (Koch und Eriksson). Bei weiterer Steigerung der Belastung sank jedoch die arterielle Sauerstoffspannung nicht weiter ab (siehe auch Abb. 7). Die CO_2 -Spannung im Blut war in Ruhe infolge der schon beschriebenen Hyperventilation etwas herabgesetzt, normalisierte sich aber im Vergleich zu gesunden Kindern (Koch und Eriksson) weitgehend (siehe Abb. 7). Die funktionelle Totraumventilation (V_D/V_T) war in Ruhe, ebenfalls als Folge der hierbei bestehenden Hyperventilation, erhöht, sank aber bei Belastung fortlaufend ab und erreichte bei maximaler Belastung einen Wert, der nur noch gering über demjenigen von gesunden Kindern liegt.

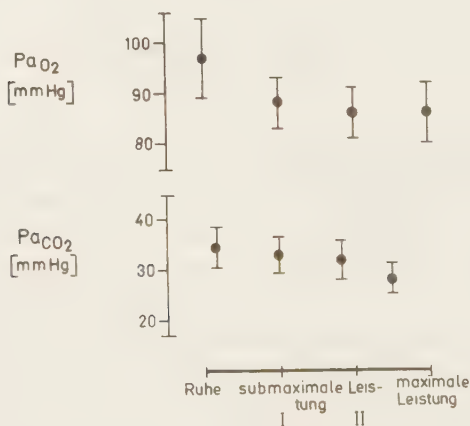


Abb. 7: Arterielle Sauerstoffspannung (PaO_2) und arterielle CO_2 -Spannung (PaCO_2) in Ruhe, während submaximaler (I, II) und maximaler Belastung bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur.

- d) Drucke im rechten Ventrikel und im kleinen Kreislauf in Ruhe bei Kindern mit Fallot'scher Tetralogie nach Korrekturoperation.

Da in unseren Untersuchungen während Belastung keine Druckmessungen vorgenommen wurden, können an dieser Stelle nur die in Ruhe vor Beginn der Belastungsuntersuchung durchgeführten Druckmessungen wiedergegeben werden. Wie aus Tab. 4 hervorgeht, war der Druck im rechten Ventrikel bei 7 Probanden auf Werte zwischen 40-50mm Hg leicht erhöht und bei 5 Probanden auf Werte über 50mm Hg deutlich erhöht. Der Druckgradient zwischen rechtem Ventrikel und Pulmonalarterie war entsprechend bei 4 Kindern größer als 20mm Hg. Der diastolische Druck in der arteria pulmonalis war in vielen Fällen auffallend niedrig, was wohl auf die in diesen Fällen hämodynamisch wirksame Pulmonalinsuffizienz zurückgeführt werden muß. Der enddiastolische Druck im rechten Ventrikel, der in Tab. 4 nicht berücksichtigt ist, betrug bei unseren Probanden im Mittel 8mm Hg und war somit deutlich höher als normal.

P_{syst} RV mmHg	n	P_{syst} RV-PA mmHg	n	P_{diast} PA mmHg	n
< 40	9	< 12	7	> 10	6
40-50	7	12-20	10	7-10	9
> 50	5	> 20	4	< 7	6

Tab. 4: Ruhewerte des systolischen Drucks im rechten Ventrikel (P_{syst} RV), des systolischen Druckgradienten zwischen Pulmonalarterie und rechtem Ventrikel (P_{syst} RV-PA) und des diastolischen Drucks in der Pulmonalarterie (P_{diast} PA) bei 21 Kindern und Jugendlichen mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur.

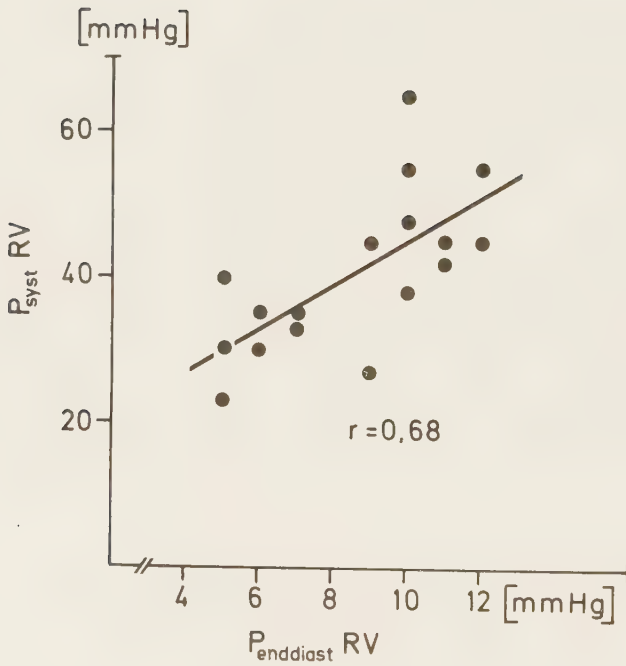


Abb. 8: Systolischer Druck im rechten Ventrikel ($P_{\text{syst RV}}$) in Abhängigkeit von enddiastolischen Druck im rechten Ventrikel ($P_{\text{enddiast RV}}$).

In Abb. 8 ist der systolische Druck im rechten Ventrikel in Beziehung zum enddiastolischen Druck im rechten Ventrikel gesetzt worden. Dabei zeigt sich, daß der enddiastolische Druck im rechten Ventrikel im allgemeinen umso höher ist, je höher der systolische Druck im rechten Ventrikel ist. Der Korrelationskoeffizient für diese Beziehung beträgt 0,68 und ist von Null signifikant unterschieden.

Eine Abhängigkeit der Verminderung des maximalen Schlagvolumens bzw. des maximalen Herzminutenvolumens oder der maximalen Sauerstoffaufnahme von der Höhe des enddiastolischen Druckes im rechten Ventrikel oder vom Druckgradienten zwischen rechtem Ventrikel und arteria pulmonalis bzw. von der Höhe des systolischen Druckes im rechten Ventrikel in Ruhe ließ sich aus unseren Werten nicht sicher nachweisen.

II Diskussion der Ergebnisse

Betrachtet man die vorliegenden Befunde, so kann man feststellen, daß die Funktion des kardiovaskulären Systems nach der Totalkorrektur der Fallot'schen Tetralogie außerordentlich verbessert ist. Diese Befunde decken sich auch mit den Ergebnissen von Epstein et al., Gotsman, Gotsman et al., und Bjorn Bjarke.

Es zeigte sich allerdings auch, daß noch Jahre nach der Operation eine mittelgradige Einschränkung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit besteht. Diese Einschränkung bleibt auch bestehen, wenn man bedenkt, daß nach Untersuchungen von Eriksson bei Messungen der maximalen Sauerstoffaufnahme im Rahmen einer Herzkatheteruntersuchung die Ergebnisse um etwa 5% unter denen einer unbeschwerten Meßsituation liegen können.

Bei unseren Kindern ließ sich die Verminderung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit auf eine Verminderung des Herzminutenvolumens zurückführen, das auf einer Reduktion des Schlagvolumens beruht. Dafür spricht auch, daß das Herzminutenvolumen bei submaximalen Belastungsstufen konstant gehalten werden konnte, weil das erniedrigte Schlagvolumen durch eine Erhöhung der Herzfrequenz kompensiert werden konnte. Dieser Mechanismus ist jedoch bei ansteigender Leistung nur bis zum Erreichen der maximalen Herzfrequenz möglich. Bei den von uns untersuchten Kindern war aber die maximale Herzfrequenz mit 196 Schlägen pro Minute nicht erhöht. Aus diesem Grunde wirkte sich das erniedrigte Schlagvolumen bei maximalen Belastungen über eine Verminderung des Herzminutenvolumens aus. Dies zeigte sich in einer Herabsetzung der maximalen Sauerstoffaufnahme. Daraus geht hervor, daß man aufgrund eines normalen Herzminutenvolumens bei submaximalen Belastungen nicht auf eine normale Funktionsfähigkeit des Organismus schließen kann. Dies wurde auch von Bristow et al., sowie von Gotsman gefunden. Auch die Ergebnisse von Shah und Kidd, nach denen

bei einer submaximalen Belastung ein Anstieg des Herzminutenvolumens erfolgte, lassen dahingehende Folgerungen zu.

Epstein et al. haben bei ihren Patienten das Herzminutenvolumen mit der zentralvenösen Sauerstoffsättigung korreliert und dabei gefunden, daß sowohl bei submaximaler als auch bei maximaler Belastung das Herzminutenvolumen relativ niedrig war. Diese Feststellung widerspricht aber nur scheinbar unseren Ergebnissen bei submaximaler Belastung. Da nämlich die arteriovenöse O_2 -Differenz, deren Höhe ja bei normaler arterieller O_2 -Sättigung ausschließlich von der zentralvenösen O_2 -Sättigung bestimmt wird, bei unseren Versuchspersonen mit relativer Leistung ebenso wie die Herzfrequenz normal anstieg, ist sie im Vergleich zu absoluten Werten der Sauerstoffaufnahme relativ hoch gewesen. Ebenso wie die Sauerstoffaufnahme ist aber dann auch das Herzminutenvolumen unserer Probanden, dessen Werte ja bei Belastung der Sauerstoffaufnahme entsprachen, in Bezug auf die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz relativ niedrig gewesen.

Untersuchungen unter Einschluß maximaler Belastung wurden bisher nur bei Patienten durchgeführt, deren Korrektur überwiegend erst nach der Pubertät erfolgt war. Bei 11 Jugendlichen und Erwachsenen fanden Epstein et al. dabei unter Berücksichtigung des Körpergewichts eine maximale Sauerstoffaufnahme von 28,3 ml/min/kg.

Bjarke fand bei 9 Männern und 11 Frauen, die zum Zeitpunkt der Korrekturoperation im Durchschnitt 20 Jahre alt gewesen waren, etwa 6 Jahre nach der Operation unter Berücksichtigung des Körpergewichts Werte der mittleren Sauerstoffaufnahme von 30,5 ml/min/kg bzw. 25,5 ml/min/kg. Der gemeinsame Mittelwert von Männern und Frauen betrug ebenso wie bei Epstein et al. 28 ml/min/kg. Um die von uns bestimmten Werte mit denen der genannten Autoren vergleichen zu können, haben wir auch für unsere Patienten die absoluten Werte der maximalen Sauerstoffaufnahme auf das Körpergewicht bezogen und dabei für die Jungen einen Wert von

37,0 ml/min/kg und für die Mädchen einen Wert von 34,2 ml/min/kg gefunden. Für alle untersuchten Patienten lag der Mittelwert der maximalen Sauerstoffaufnahme unter Berücksichtigung des Körpergewichts bei 35,5 ml/min/kg. Hinsichtlich der unterschiedlichen Normalwerte für Jungen und Mädchen (Mocellin) waren die Ergebnisse von Jungen und Mädchen unseres Untersuchungsgutes als relativ gleich anzusehen. Verglichen mit den Werten von Epstein et al. sowie Bjarke schneiden unsere Patienten gut ab. Ihre Werte liegen im Durchschnitt um etwa 20% über denjenigen der von diesen Autoren untersuchten Patienten. Die von Bjarke geäußerte Vermutung, daß eine Korrektur im Kindesalter zu besseren Ergebnissen führe als eine Spätkorrektur wird damit bestätigt. Dieses Ergebnis stützt auch die Hypothese Erikssons, daß ein gewisses Maß an körperlicher Aktivität, wie es unseren Kindern durch die Operation ermöglicht wurde, gerade während der Wachstumsperiode maßgeblich zu einer harmonischen funktionellen Entwicklung des Organismus beiträgt.

Auch Epstein et al. führen die Einschränkung der kardiopulmonalen Funktionsfähigkeit bei ihren Patienten primär auf die Verminderung des Schlagvolumens zurück. Über das Verhalten der Herzfrequenz lassen sich aus ihren Angaben keine Informationen entnehmen. In dieser Hinsicht sind die Ergebnisse von Bjarke aufschlußreich. Er fand nämlich bei seinen Patienten nicht nur das Schlagvolumen erniedrigt, sondern auch die Herzfrequenz auf relativen Leistungsstufen entgegen unseren Ergebnissen im Vergleich zu normalen Werten herabgesetzt. Das hatte zur Folge, daß das Herzminutenvolumen schon auf submaximalen Leistungsstufen ebenfalls herabgesetzt war, weil eine Kompensation des verminderten Schlagvolumens durch eine relativ hohe Herzfrequenz im Gegensatz zu unseren Patienten nicht bestand. Diese zusätzliche Beeinträchtigung seiner Patienten würde eine gute Erklärung für das relativ schlechte Abschneiden von Patienten abgeben, deren Korrektur im Erwachsenenalter erfolgte. Leider steht dieses Ergebnis aber nicht nur in Widerspruch zu unse-

ren Ergebnissen bei Patienten, deren Korrektur überwiegend im Kindesalter erfolgte, sondern auch in Widerspruch zu den genannten Ergebnissen von Bristow et al., Gotsman, Gotsman et al., Malm et al. sowie Shah und Kidd bei später korrigierten Patienten. Auch aus Bjarkes Analyse geht hervor, daß die Hauptursache für die Reduktion der maximalen Sauerstoffaufnahme bei seinen Patienten das zu geringe Schlagvolumen des Herzens war. Über die Ursache für die Verminderung des Schlagvolumens bei Patienten mit Fallot'scher Tetralogie nach Totalkorrektur können bisher nur Vermutungen angestellt werden. Bei unseren Patienten konnten wir keine Abhängigkeit der Größe des Schlagvolumens von der Anatomie des Ausflußtrakts, von einer vorangegangenen Shuntoperation, vom Einsatz einer Ausflußtraktprothese oder vom noch verbliebenen Druckgradienten zwischen rechtem Ventrikel und Pulmonalarterie feststellen. Derartige Beziehungen konnte auch Bjarke bei seinen Patienten nicht nachweisen. Ob eine Beziehung zum Grad der Pulmonalinsuffizienz besteht, war bisher nicht festzustellen, da das Regurgitationsvolumen nicht quantitativ erfaßt werden konnte. Gegen diese Annahme spricht aber, daß bei 6 unserer 21 Patienten, bei denen auskultatorisch keine Pulmonalinsuffizienz nachgewiesen werden konnte, die Verminderung des Schlagvolumens derjenigen der übrigen Patienten entsprach. Bristow et al., Gotsman et al., Jones et al. sowie Malm et al. sind zu den gleichen Ergebnissen gekommen.

Epstein et al. haben nachgewiesen, daß es bei Patienten, bei denen in Ruhe nur ein geringer Druckgradient zwischen rechtem Ventrikel und Pulmonalarterie bestand, bei Belastung zu einem teilweise erheblichen Anstieg des Druckgradienten kommen konnte. Da wir nur in wenigen Fällen Druckmessungen im rechten Ventrikel während Belastung durchführen konnten, ist es uns nicht möglich, zu diesem Punkt Stellung zu nehmen. Zumindest ist es fraglich, ob in Fällen mit überproportionaler Drucksteigerung im Ventrikel bei Belastung ein normales Schlagvolumen erreicht bzw. aufrechterhalten werden kann. Bristow et al. betonen, daß der enddiastolische Druck des

rechten Ventrikels bei Belastung in der Mehrzahl der Fälle überproportional ansteigt. Nach den Ausführungen von Bjarke ist es aber möglich, daß ein solcher Anstieg des enddiastolischen Drucks bei Belastung nicht in dem Ausmaß stattfinden kann, wie es zur Aufrechterhaltung eines normalen Schlagvolumens notwendig wäre, wenn schon in Ruhe der enddiastolische Druck im rechten Ventrikel erhöht ist, was für einen Teil der Patienten mit korrigierter Fallot'scher Tetralogie zutrifft. In unserem Untersuchungsgut betrug der enddiastolische Druck im rechten Ventrikel im Durchschnitt 8mm Hg und lag damit über den als normal angesehenen Werten.

Als weiterer Kompensationsmechanismus zur Erhöhung des Schlagvolumens kommt die Verlängerung der systolischen Auswurfzeit in Betracht. Dieser Mechanismus ist von Shah und Kidd auch für Patienten mit Fallot'scher Tetralogie nachgewiesen worden. Es ist aber fraglich, ob bei einer Verlängerung der Systole auch bei höheren Herzfrequenzen noch eine ausreichende Füllung des rechten Ventrikels während der entsprechend verkürzten Diastole stattfinden kann.

Es wäre aber falsch, die Verminderung des Schlagvolumens des Herzens nur auf eine unzureichende Funktion des rechten Ventrikels zurückführen zu wollen. Jarmakani et al. haben nachgewiesen, daß Patienten mit Fallot'scher Tetralogie auch dann noch eine Einschränkung der Funktion des linken Ventrikels in Form einer verminderten "ejection fraction" aufweisen, wenn es durch die Korrekturoperation zu einer Vergrößerung des zuvor verkleinerten linken Ventrikels gekommen war:

So wie es durch Übung zu einer Vergrößerung des Schlagvolumens des Herzens kommt (Ekblom et al., Eriksson und Koch), ist eine Verminderung des Schlagvolumens durch eine länger andauernde Inaktivität bekannt (Saltin et al.). Über die sportliche Betätigung unserer Patienten lassen sich nur ungenaue Angaben machen. Es war aber auffällig, daß von allen Untersuchten angegeben wurde, sie seien in ihrer Leistungsfähigkeit uneingeschränkt gewesen. Im Gegensatz hierzu steht,

daß nur knapp die Hälfte der Kinder am Schulsport teilgenommen hat. Ärztlicherseits wurden keine Bedenken gegen eine Teilnahme am Schulsport ausgesprochen. Es darf deshalb angenommen werden, daß in dieser Gruppe die körperliche Aktivität gegenüber gesunden Gleichaltrigen vermindert war. Man kann also annehmen, daß die schonende Haltung, die von den Eltern über Jahre vor der Operation eingenommen wurde, nach der Korrektur nicht abgelegt wurde. Aus diesem Grunde wurde die körperliche Aktivität der Kinder häufig gebremst.

Es stellt sich nun die Frage, ob man versuchen soll, die Verminderung des Schlagvolumens und damit der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit durch ein intensives Training der Kinder auszugleichen. Obwohl nichts gegen die Teilnahme der Kinder am Schulsport einzuwenden ist, zumal da keine wesentlichen Belastungen für das Herz-Kreislauf-System zu erwarten sind, muß doch von einem intensiven Training aufgrund der immer noch bestehenden anatomischen und funktionellen Veränderungen des Herzens bei diesen Kindern abgeraten werden.

Zusammenfassung

Es wurden 21 Kinder, 8 Jungen und 13 Mädchen im Alter von 7,9 bis 17,3 Jahren untersucht, die vor 1 bis 7, im Durchschnitt vor 3,6 Jahren an einer Fallot'schen Tetralogie total-korrigiert wurden. Es zeigte sich in einem 3-Stufen-Belastungsversuch, daß durch die Operation die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit außerordentlich verbessert werden konnte. Eine mittelgradige Einschränkung der Leistungsfähigkeit blieb jedoch bestehen, die auf einer Verminderung des maximalen Herzminutenvolumens beruht. Diese Verminderung des Herzminutenvolumens muß, da die maximale Herzfrequenz normal war, auf eine Verminderung des Schlagvolumens zurückgeführt werden.

Es konnte ferner die Vermutung Bjarkes bestätigt werden, daß eine Korrektur im Kindesalter zu besseren Ergebnissen führt als die Korrektur im Erwachsenenalter. Auch konnte die Hypothese Erikssons, daß ein gewisses Maß an körperlicher Aktivität zu einer harmonischen Entwicklung des Organismus notwendig ist, bestätigt werden. Über die sportliche Betätigung der Kinder nach der Operation konnten keine erschöpfenden Angaben gemacht werden.

Literaturverzeichnis

1. Bjarke, B.: Spirometric Data, Pulmonary Ventilation and Gas Exchange at Rest and during Exercise in Adult Patients with Tetralogy of Fallot. Scand. J. resp. Dis. 55, 47 (1974)
2. Bjarke, B.: Oxygen Uptake and Cardiac Output during submaximal Exercise in Adult Subjects with Totally Corrected Tetralogy of Fallot. Acta Medica Scand. 196, 380, (1974)
3. Bjarke, B.: Functional studies in palliated and totally corrected adult patients with tetralogy of Fallot. Scand J. Thor Cardiovasc. Surg. Suppl 16, 1 (1974)
4. Bristow, M.D., M.D., Serial Cardiac Catheterizations
Frank E Kloster, M.D., and Exercise Hemodynamics after
Martin H. Lees, M.D., Correction of Tetralogy of Fal-
Victor D. Menashe, M.D., lot.
Herbert E. Griswold, M.D., Circulation, 16, 1075
and Albert Starr, M.D. : (1970)
5. Ekblom, B.: Effect of physical training in adolescent boys
J.appl.Physiol.27, 350 (1969)
6. Epstein, S.E., Beiser, Hemodynamic abnormalities in res-
G.D., Goldstein, R.E.,
Rosing, D.R., Morrow,
A.G.:
response to mild and intense upright
exercise following operative cor-
rection of an atrial septal defect
or tetralogy of Fallot.
Circulation, 47, 1065 (1973)
7. Eriksson, B.O.: Physical training, oxygen supply
and muscle metabolism in 11 13 year
old boys
Acta physiol.scand.Suppl.384 (1972)

8. Eriksson,B.O., Grimby, G., Saltin, B.: Cardiac output and arterial blood gases during exercise in pubertal boys.
J.appl.Physiol. 31,348 (1971)
9. Eriksson,B.O., and B. Bjarke: Oxygen uptake, arterial blood gases and blood lactate concentration at submaximal and maximal exercise in adult subjects with shunt-operated tetralogy of Fallot.
Acta Medica Scand. 195, 240, (1974)
10. Gotsman, M.S.: Haemodynamic and cine-angiographic findings after one-stage repair of Fallot's tetralogy.
Brit.Heart J. 28, 448 (1966)
11. Gotsman,M.S.,Beck,W., Barnard,C.N.,Schrire, V.: Results of repair of tetralogy of Fallot.
Circulation 40, 803 (1969)
12. Holmgren,A., Mattsson, K.H.: A new ergometer with constant load at varying pedalling rate.
Scand.J.clin.Lab.Invest.6, 137 (1954)
13. Jarmakani,J., Graham, Jr.T., Canent,R., Jewett,P.: Left heart function in children with tetralogy of Fallot before and after palliative or corrective surgery.
Circulation 46, 478 (1972)
14. Koch,G., Eriksson, B.O.: Effect of physical training on pulmonary ventilation and gas exchange during submaximal work in boys aged 11 to 13 years.
Scand.J.clin.Lab.Invest. 31, 87 (1973)

15. Malm,J.R.,Blumenthal, S., Bowmann,Jr.F.O., Ellis,K., Jameson,A. G.,Jesse,M.J.,Yeoh, C.B.: Factors that modify hemodynamic results in total correction of tetralogy of Fallot. J. Thorac. Cardiovasc. Surg. 52, 502 (1966)
16. Mocellin,R.: Funktionsdiagnostik des Herzkreislaufsystems bei gesunden und kranken Kindern und Jugendlichen. (in Vorbereitung)
17. Mocellin,R., Bastanier,C.: Zur Frage der Zuverlässigkeit der W_{170} als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit bei der Beurteilung von Kindern mit Herzkrankheiten. Z. Kinderheilk. (im Erscheinen)
18. Mocellin,R., Rutenfranz,J., Singer,R.: Zur Frage von Normwerten der körperlichen Leistungsfähigkeit (W_{170}) im Kindes- und Jugendalter. Z. Kinderheilk. 110, 140 (1971)
19. Mocellin,R., Sebening, W., Bühlmeyer,K.: Herzminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme in Ruhe und während submaximaler Belastungen bei 8-14jährigen Jungen. Z. Kinderheilk. 114, 323 (1973)
20. Saltin,B.,Blomqvist,G., Mitchell,J.H.,Johnson, R.L.,Wildenthal,K., Chapman,C.: Response to exercise after bedrest and training. Circulation 38, Suppl. VII (1968)
21. Shah,P., Kidd,L.: Hemodynamic responses to exercise and to isoproterenol following total correction of Fallot's tetralogy. J.Thorac.Cardiovasc.Surg.52, 138 (1966)

22. Sinet, S.:
Nouvelle methode de mesure du
contenu sanguin en oxygene. Etude
comparative avec la methode mano-
metrique de van Slyke.
Dissertation, Paris 1973
23. Tanner, J.M.:
Growth at adolescence.
Oxford: Blackwell Scientific
Publications 1962

An dieser Stelle darf ich allen meinen Lehrern
sehr herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr.
Mocellin für die Überlassung des Themas und die
rat- und tatkräftige Unterstützung bei der Durch-
führung der Versuche und der Auswertung der Ergeb-
nisse.

Dem Herzkatheterlabor danke ich für die Durchfüh-
rung der zahlreichen Analysen.

Lebenslauf

Am 23. Mai 1947 wurde ich als zweiter von drei Söhnen des Oberstudiendirektors Georg Hofacker und seiner Ehefrau Liselotte, geb. Anstett, in Tuttlingen/Donau geboren.

Die Grundschule besuchte ich von 1954 bis 1956 in Schwenningen/Neckar und von 1956 bis 1958 in Ravensburg. Im Frühjahr 1958 trat ich in das Neue Gymnasium Ravensburg ein, wo ich am 14. Oktober 1966 die Reifeprüfung abgelegt habe.

Im Sommersemester 1967 begann ich an der Ludwig Maximilians-Universität in München das Studium der Humanmedizin und legte an dieser Hochschule am 22. Juni 1973 die Ärztliche Prüfung ab.

Nach der einjährigen Medizinalassistentenzeit im Kreiskrankenhaus München-Pasing erhielt ich am 12. September 1974 die Approbation als Arzt.

Seit dieser Zeit bin ich am Kreiskrankenhaus München-Pasing als Assistenzarzt in der Anästhesieabteilung beschäftigt.

